

А.Н. КОВАЛЬЧУК, канд. техн. наук;

В.В. НЕЖЕБОВСКИЙ, инж., ОАО ХМЗ "Свет шахтера", г. Харьков

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ ПО ТЕМПЕРАТУРНОМУ КРИТЕРИЮ

Предложен теоретический подход к оптимизации параметров режимов резания при зубошлифовании по температурному критерию. Даны практические рекомендации

The theoretical approach to optimizing the parameters of the cutting at zuboshlifo-Vania on temperature criteria. Practical recommendations

Одним из основных недостатков процесса шлифования является высокая вероятность образования на обрабатываемых поверхностях прижогов и других температурных дефектов, снижающих эксплуатационные свойства обработанной детали [1,2,3]. Существует множество технологических приемов, исключающих образование температурных дефектов. Однако на практике ограничиваются в основном снижением режимов резания, что ведет к уменьшению производительности обработки. Поэтому важно знать оптимальные условия обработки, позволяющие обеспечить требуемую температуру шлифования и максимально возможную производительность обработки. В связи с этим, целью работы является оптимизация параметров режимов резания при зубошлифовании по температурному критерию.

В основу решения положена аналитическая зависимость для определения температуры резания при шлифовании торцом круга [4]:

$$\theta = \sigma \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{t}{B} \cdot Q_{y0}}, \quad (1)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; τ – время обработки, с; c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность материала, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К; B – длина контакта круга с материалом (длина теплового источника), м; $Q_{y0} = t \cdot V_{dem}$ – удельная производительность обработки, м³/(с·м); t – глубина шлифования, м; V_{dem} – скорость детали, м/с.

Как видно, уменьшить θ при одной производительности обработки можно уменьшением t , т.е. увеличивая количество проходов круга при семе заданного припуска P . Однако, как известно, с увеличением количества проходов возрастает доля вспомогательного времени, связанного с реверсированием стола станка. Поэтому должно быть оптимальное количество проходов круга n , при котором штучное время обработки принимает минимальное значение. Для решения оптимизационной задачи в качестве целевой функции рассмотрим

штучное время обработки $T_{шт}$, представляя его как сумму основного $T_{осн}$ и вспомогательного $T_{всп}$ времени обработки на операции зубошлифования (рис. 1):

$$T_{шт} = T_{осн} + T_{всп} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot (\tau_{осн} + \tau_{всп}), \quad (2)$$

где $T_{осн} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot \tau_{осн}$; $T_{всп} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot \tau_{всп}$; z – количество зубьев; k – количество

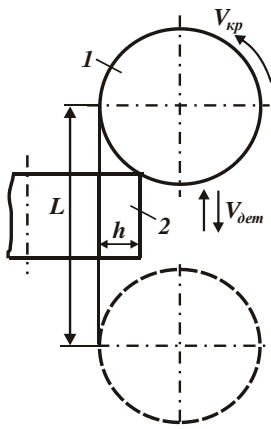
двойных возвратно-поступательных движений круга вдоль обрабатываемого зуба за один проход; $\tau_{осн} = L/V_{дет}$ и $\tau_{всп}$ – основное и вспомогательное время обработки за один двойной ход круга, с; L – длина продольного хода круга, м.

Коэффициент 2 в зависимости (2) учитывает обработку зуба с двух сторон. Скорость детали $V_{дет}$ установим из условия обеспечения заданной температуры шлифования θ на основе зависимости (1). Разрешая зависимость (1) с учетом $t = \Pi/n$, имеем

$$V_{дет} = \left(\frac{\theta}{\sigma} \right)^2 \cdot \frac{c \cdot \rho \cdot \lambda}{2} \cdot \frac{B \cdot n^2}{\Pi^2}. \quad (3)$$

Рисунок 1 – Расчетная схема зубошлифования:

1 – круг; 2 – зубчатое колесо (h – ширина контакта круга с обрабатываемым зубом; $V_{кр}$ – скорость круга)



Подставим зависимость (3) в (2):

$$T_{шт} = 2 \cdot z \cdot k \cdot \left[\left(\frac{\sigma}{\theta} \right)^2 \cdot \frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{\Pi^2 \cdot L}{n \cdot B} + \tau_{всп} \cdot n \right]. \quad (4)$$

Как видно, количество проходов круга n неоднозначно влияет на $T_{шт}$, т.к. первое слагаемое зависимости, определяющее $\tau_{осн}$, уменьшается, а второе слагаемое, определяющее $\tau_{всп}$, увеличивается (рис. 2,а). В результате имеет место экстремум функции $T_{шт}$ от n (рис. 2,б). Подчиняя зависимость (4) необходимому условию экстремума $T'_{шт_n} = 0$, установлено экстремальное значение $n_{экстр}$:

$$n_{экстр} = \frac{\sigma}{\theta} \cdot \Pi \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{L}{B \cdot \tau_{всп}}}. \quad (5)$$

Поскольку $T''_{шт_n} > 0$, то в точке экстремума имеет место минимум функции $T_{шт}$. Подставляя зависимость (5) в (4), определим минимальное значение $T_{шт}$:

$$T_{ум\min} = 2 \cdot z \cdot k \cdot n_{экстр} \cdot (\tau_{всп} + \tau_{всп}) = 4 \cdot z \cdot k \cdot \frac{\sigma}{\theta} \cdot \Pi \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{L}{B} \cdot \tau_{всп}} \cdot (6)$$

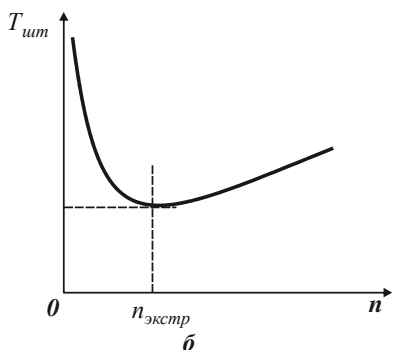
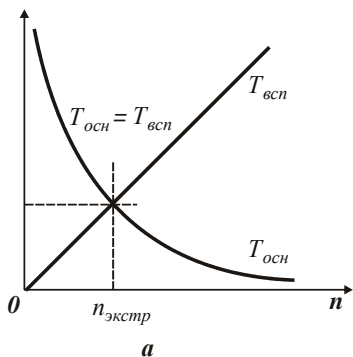


Рисунок 2 – Характер изменения функции $T_{осн}$, $T_{всп}$ (а) и $T_{ум}$ (б) от количества проходов круга n

$n_{экстр}$, определяемое зависимостью (5):

Как видно, первое и второе слагаемые (6) равны, т.е. равны основное $\tau_{осн}$ и вспомогательное $\tau_{всп}$ время обработки. Уменьшить $T_{ум\min}$ можно уменьшением σ , Π , L , $\tau_{всп}$ и увеличением θ и B . Причем, наибольший эффект достигается от уменьшения σ и Π при заданной температуре шлифования θ . Параметры L , B и $T_{всп}$ влияют на $T_{ум\min}$ в меньшей степени.

Подставляя зависимость (5) в (3), определим экстремальное значение $V_{дет} = L / \tau_{всп}$. В данном случае $V_{дет}$ тем больше, чем больше L и меньше $\tau_{всп}$. Как видно, $V_{дет}$ не зависит от σ и θ . Варьируя параметрами L и $\tau_{всп}$, можно в широких пределах изменять скорость детали $V_{дет}$, а соответственно количество проходов n и глубину шлифования t .

Преобразуем зависимость (4) к виду, удобному для анализа. Для этого выразим первое слагаемое зависимости через

$$T_{ум} = 2 \cdot z \cdot k \cdot \tau_{всп} \cdot \left(\frac{n_{экстр}^2}{n} + n \right) = 2 \cdot z \cdot k \cdot \tau_{всп} \cdot \gamma, \quad (7)$$

где $\gamma = \left(\frac{n_{экстр}^2}{n} + n \right)$ — безразмерная величина.

На рис. 3 приведены расчетные значения безразмерной величины γ в зависимости от количества проходов круга n для различных $n_{экстр}$. Как видно, с увеличением n безразмерная величина γ изменяется по экстремальной зависимости, проходя точку минимума. Чем больше $n_{экстр}$, тем больше безразмерная

величина γ , а минимум величины γ смещается в область больших значений n .

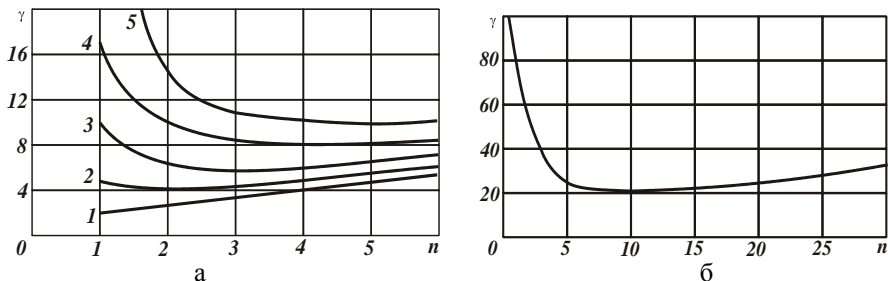


Рисунок 3 – Зависимость безразмерной величины γ от количества проходов круга n : а – 1; ...; 5 – $n_{экстр} = 1$; ...; 5; б – $n_{экстр} = 10$

Из зависимости (7) следует, что при $n < n_{экстр}$ первое слагаемое больше второго. Поэтому основное время обработки больше вспомогательного времени $\tau_{всп}$. При условии $n > n_{экстр}$, наоборот, основное время обработки меньше вспомогательного времени $\tau_{всп}$. При условии $n = n_{экстр}$ основное время обработки равно вспомогательному времени обработки $\tau_{всп}$.

Используя полученные зависимости, произведем расчет оптимальных условий обработки применительно к плоскому шлифованию твердого сплава ВК8 торцом круга. Исходные данные для расчетов: $\rho = 14,5 \cdot 10^3$ кг/м³; $c = 40$ кал/(кг·град); $\lambda = 14$ кал/(м·с·град); $\sigma = 10^5$ Н/мм²; $\theta = 1000^\circ\text{C}$; $P = 0,4$ мм; $L = 100$ мм; $B = 30$ мм; $\tau_{всп} = 1$ с. Подставляя исходные данные в зависимости (5), (3) и $t = P/n$, получено: $n_{экстр} = 9$; $V_{дет} = 6$ м/мин; $t = 0,045$ мм. При шлифовании сталей условное напряжение резания σ будет, естественно, меньше, поэтому будет меньше количество проходов круга n и больше глубина шлифования t .

Из рис. 3,б (для $n_{экстр} = 10$) следует, что γ не столь существенно изменяется в диапазоне $n = 5 \dots 20$. Следовательно, съем припуска (для $n_{экстр} = 10$) фактически с одинаковой производительностью обработки можно производить за 4 – 20 проходов круга (для $n = 4$ имеем $t = 0,1$ мм). Это свидетельствует об эффективности съема припуска за небольшое количество проходов круга.

Список литературы: 1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с. 2. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с. 3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 2. "Теплофизика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2003. – 625 с. 4. Новиков Ф.В. Оптимизация параметров режима шлифования зубчатых колес / Ф.В. Новиков, В. В. Нежебовский // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 2010.- Вып.12.- С.56-62.

Поступила в редколлегию 20.09.2010